

Der derzeitige Entwicklungsstand der Herz-Lungen-Maschine

(Unter besonderer Berücksichtigung des
amerikanischen Schrifttums)

Harold Kapen



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555222_0139

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität München

Direktor: Professor Dr. E. K. Frey

DER DERZEITIGE ENTWICKLUNGSSTAND DER
HERZ-LUNGEN-MASCHINE

(Unter besonderer Berücksichtigung des
amerikanischen Schrifttums)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Harold Kapen

aus

New York, U.S.A.

München 1959



5349/60

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Prof. Dr. E. K. Frey

Dekan: Prof. Dr. Schwiegk

Tag der mündlichen Prüfung: 15. März 1960

"Die Herzchirurgie hat wahrscheinlich die der gesamten Chirurgie durch die Natur gesetzten Grenzen erreicht. Keine neue Methode und keine neue Entdeckung kann die naturbedingten Schwierigkeiten, die eine Herzerkrankung begleiten, überwinden." So schrieb im Jahre 1896 der hervorragende britische Chirurg Stephan PAGET.

Eine Darstellung des gegenwärtigen Standes der Herzchirurgie ist, ganz besonders, wenn es sich um die modernsten Methoden - die Anwendung des extracorporalen Kreislaufs - handelt, schwierig wegen der Schnelligkeit, mit der gerade auf diesem Gebiet in der letzten Zeit Fortschritte gemacht werden. Neue diagnostische Techniken wurden erfunden und verfeinert und Berichte über neue chirurgische Erfahrungen erscheinen fast täglich, wobei an vielen Orten der Welt die Anwendung der Herz-Lungen-Maschinen mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Der Zweck dieser Arbeit soll es sein, zu versuchen, den derzeitigen Stand der operativen Technik unter Verwendung eines extracorporalen Kreislaufs mit seinen Grundprinzipien sowie die bewährtesten Modelle der Herz-Lungen-Maschine darzustellen, auf die dabei auftauchenden Probleme hinzuweisen und ihre Lösung kritisch aufzuzeigen.

HISTORISCHES

Daß sich die Chirurgie auch der Herzerkrankung angenommen hat, ist keine neue Entwicklung; die ersten Versuche sind bereits vor 50 Jahren gemacht worden. Diese ersten Versuche waren indessen, weil die diesbezüglichen Gebiete der Thoraxchirurgie und Anaesthesie noch nicht genügend entwickelt waren, um dem Chirurgen eine Eröffnung des Brustkorbs unter den notwendigen Schutzmaßnahmen zu gestatten, zum Scheitern verurteilt.

Die Herzchirurgie mußte die Entwicklung der Thoraxchirurgie, die im wesentlichen während der 20er und 30er Jahre erfolgte, abwarten. Sobald es möglich war, den Brustkorb chirurgisch ohne Schwierigkeiten und Gefahren zu eröffnen, folgten bald die ersten erfolgreichen Eingriffe am Herzen bzw. den großen Gefäßen. So führte SCHMIEDEN 1926 eine Perikardektomie bei konstriktiver Perikarditis aus, eine Operation, die sich mit gewissen Veränderungen seitdem durchgesetzt hat. E. K. FREY 1938 und GROSS 1939 unterbanden den offenen Ductus arteriosus Botalli. CRAFOORD und GROSS erfanden im Jahre 1945 unabhängig voneinander eine Methode zur Korrektur der Aortenisthmus-

stenose durch Resektion des verengten Abschnittes. BLALOCK und TAUSSIG führten 1945 eine Anastomose zwischen der Arteria subclavia und der Arteria pulmonalis durch, um den Lungenkreislauf bei der Fallot'schen Tetralogie zu verbessern. Diese Eingriffe wurden jedoch alle extracardial ausgeführt; am Herzen selbst wurde zunächst nur ausnahmsweise operiert.

FRÜHERE METHODEN

Die Zeit der "blinden intracardialen" Chirurgie darf in den 40er Jahren angenommen werden. Allerdings waren schon viele Jahre früher einzelne erfolgreiche Operationen am Herzmuskel durchgeführt worden, jedoch führte erst der zweite Weltkrieg in größerem Maßstab zur erfolgreichen Entfernung von Geschoßen und Schrapnellteilen, die bei Kriegsverwundungen in den Herzmuskel und in das Innere der Herzkammern und großen Gefäße eingedrungen waren. Nach dem Kriege wandten die Chirurgen ihre Aufmerksamkeit nun auch der intracardialen Chirurgie zu; es wurden grundlegende Operationen zur Behandlung der Mitralkstenose (BAILEY), der Pulmonalstenose (BROCK), des Vorhofseptumdefektes (MURRAY), der Aortenstenose (BAILEY) und verschiedener seltener Typen congenitaler Herzkrankungen entwickelt. Alle diese chirurgischen Eingriffe wurden aber "blind" ausgeführt, d. h. es konnte nicht unter direkter Sicht operiert, sondern nur nach dem Tastgefühl vorgegangen werden.

In den letzten Jahren hat die "offene" Herzchirurgie, die Operation am und im stillgelegten Herzen unter Sicht des Auges, ihren erfolgreichen Anfang genommen. Eine derartige Operation ist durch die Anwendung von Hypothermie oder "By-Pass" des Herzens der einen oder anderen Art ermöglicht worden.

Dieses neueste Gebiet der Herzchirurgie hat sich schnell entwickelt und befindet sich im Augenblick noch in einem Stadium der dauernden Veränderung und Verbesserung. Es sind aber schon derartige Fortschritte gemacht worden und die Weiterentwicklung und Forschung schreitet so rasch voran, daß für viele in dieser Arbeit gemachte Angaben eine nochmalige Revision innerhalb eines Jahres erforderlich werden dürfte. Das Zeitalter der offenen Herzchirurgie ist bereits erreicht und sie verspricht, eine noch breitere Anwendung innerhalb der nächsten paar Jahre zu finden. Manche Herzerkrankung, die jetzt noch als inoperabel angesehen wird, dürfte operabel werden. Auch die Statistiken über das Operationsrisiko und den operativen Erfolg werden in Erkenntnis dieser neuesten Entwicklung revidiert werden müssen.

DAS GRUNDPRINZIP DER HERZ-LUNGEN-MASCHINE UND IHRE ANWENDUNG IN DER INTRACARDIALEN CHIRURGIE

Die sogenannte Herz-Lungen-Maschine übernimmt für die Zeitspanne, in der am Herzen operiert werden muß, die Funktion des Herzens und der Lungen. Nur so ist es möglich, das Herz aus dem Kreislauf auszuschalten, es anzuhalten, zu eröffnen und nach der notwendigen Korrektur des Vitiums wieder seine Tätigkeit aufnehmen zu lassen. Die Herzfunktion wird von mechanischen Pumpen übernommen. Da es viel zu große technische Schwierigkeiten bereitet, neben dem Körperkreislauf auch den Lungenkreislauf durch einen sogenannten "By-Pass" vom Herzen unabhängig zu machen, wird er bei den bis jetzt üblichen Methoden mit ausgeschaltet. An seine Stelle tritt ein sogenannter Oxygenator, d. h. eine Einrichtung, die das aus den Hohlvenen abgeleitete Blut mit Sauerstoff anreichert und von Kohlensäure befreit, so daß es durch die Pumpe als arterialisiertes Blut dem Körperkreislauf wieder zugeführt werden kann. Man tauscht also die bisher operativ unüberwindliche Schwierigkeit, auch den Lungenkreislauf vom Herzen zu trennen, gegen die leichter zu lösende Aufgabe, das venöse Blut in arterielles umzuwandeln, ein. Die notwendige Apparatur setzt sich demnach aus künstlichem Herz und künstlicher Lunge, mit anderen Worten aus Pumpe und Oxygenator, zusammen und wird dementsprechend auch als "Pumpenoxygenator" bezeichnet.

Der ideale Pumpenoxygenator muß folgende Voraussetzungen erfüllen:

1. Er muß in derselben Weise wie die Lungen funktionieren und das Blut mit Sauerstoff versorgen sowie das Kohlendioxyd aus dem Blut entfernen.
2. Die Leistung muß dem jeweiligen Patienten, d. h. seinem Minutenvolumen, angleichbar, also in bestimmten Grenzen variierbar und regulierbar sein.
3. Er muß in der Lage sein, so zu arbeiten, daß keine ernsthaften Störungen bei der Gerinnung oder im Fibrinmechanismus des Blutes auftreten. Er darf weder Embolie verursachen noch Schaum erzeugen, der nicht entfernt werden kann. Endlich muß eine Schädigung des Blutes (Haemolyse) vermieden werden.
4. Die Azidität sollte keine größeren Schwankungen erleiden; das Elektrolytgleichgewicht soll gewahrt werden.
5. Der Stoffwechsel des Körpers muß adäquat erhalten bleiben.

6. Die Funktion der Atmungsorgane muß für den Zeitraum voll erhalten bleiben, der ausreicht, um eine sorgfältige Durchführung des operativen Eingriffes am offenen Herzen des Menschen unter direkter Sicht zu gewährleisten.
7. Das System der Herz-Lungen-Maschine muß so konstruiert sein, daß es leicht gereinigt, sterilisiert und wieder zusammengebaut werden kann.
8. Man muß eine Anzahl Kanülen verschiedener Größen haben, um sich dem jeweils erforderlichen Blutstrom anzugleichen und sich dem Kaliber der Gefäße, in die eine Kanüle eingelegt werden soll - und zwar je nach Alter und Körpergröße des betreffenden Patienten - anpassen zu können.
9. Alle Anschlüsse und Verbindungen sollten in Standardausführung vorhanden und leicht auswechselbar sein, um die Auswahl der optimalen Kanülengröße auf dem Operationstisch zu erleichtern.
10. Das Ablassen der Luft aus der gesamten Anlage sollte ein Minimum an Zeit und Blut erfordern.
11. Die verschiedenen Anschlüsse und Verbindungen müssen mit Sicherheitsvorrichtungen versehen sein, um Komplikationen zu vermeiden.

Erst wenn die gesamte Herz-Lungen-Maschine mit Blut gefüllt und betriebsbereit ist, kann mit der Operation begonnen werden. Die arterielle Kanüle, die dem Patienten das arterialisierte Blut zuführt, wird in die vorher durchtrennte linke Arteria subclavia mit Stromrichtung zur Aorta eingesetzt. Vor dem Einlegen einer entsprechenden Kanüle müssen die entsprechende Arterie und die Venae cavae freipräpariert werden. Während die Arterie geopfert wird, d. h. nach peripherer Unterbindung die Kanüle in den zentralen Stumpf eingebunden wird, erfolgt die Ableitung des venösen Blutes aus den Vv. cavae mittels dünner Schläuche oder Katheter, die durch den Vorhof oder das Herzohr in die Venen eingelegt werden. Die Venen werden dann temporär mittels Nabelschnurbändchen oder dünnen Gummischläuchen über dem Katheter so eingeeengt, daß kein Blut mehr neben dem Katheter ins Herz gelangen kann, sondern das gesamte Körperven Blut durch die Katheter zur Maschine fließen muß. Aorta und A. pulmonalis müssen ebenfalls freipräpariert werden, so daß sie bei Ingangsetzen der Maschine abgeklemmt oder temporär ebenfalls mittels Nabelschnurbändchen oder Gummischlauch abgebunden werden können.

Die wesentlichsten Teile einer Herz-Lungen-Maschine sind folgende:

1. Oxygenator : Hier wird das venöse Blut mit Sauerstoff gesättigt, CO₂ ausgeschieden und das arterialisierte Blut dem Patienten wieder zugeführt. Die

verschiedenen Typen der Oxygenatoren werden bei den einzelnen Maschinen später beschrieben.

2. Pumpen: Die Pumpen werden benutzt, um das Blut vom Patienten in den Oxygenator und aus dem Oxygenator wieder zum Patienten zu pumpen. Die Pumpen müssen in der Lage sein, je nach den Erfordernissen einen verschiedenen großen Blutstrom zu fördern. Wo es möglich ist, sollte für den Fall, daß ein Motor ausfällt, eine Reservekraftquelle verfügbar sein.
3. Filter: Der Filter wird benutzt, um alle Luftblasen und Emboli, die sich in der Maschine bilden können, sowie übermäßigen Schaum vom Oxygenator zu entfernen.
4. Temperaturkontrolle: Diese ist notwendig, um das Blut während des extracorporalen Kreislaufs auf Körpertemperatur zu halten.
5. Schlauchsystem: Die Erfahrung hat gezeigt, daß Glas eine übermäßige Haemolyse verursacht. Alle Schläuche, Verbindungen, Anschlüsse innerhalb des Systems sind entweder aus Plastik oder rostfreiem Stahl mit völlig glatter, hochpolierter Innenfläche herzustellen.
6. Antifoam: Dieser chemische Stoff wird über alle Teile, die mit dem Blut in Berührung kommen, fein verteilt, verringert die Erzeugung von Schaum, wenn das Blut mit Sauerstoff gesättigt wird und verhindert weitgehend die Verschleppung von Luft- und O₂-Bläschen.
7. Sauerstoffquelle: Diese ist erforderlich, um das venöse Blut, sobald es durch den Oxygenator fließt, zu arterialisieren, und besteht aus Sauerstoffbombe und regulierbarem Reduzierventil.
8. EKG: Obwohl es nicht zur Grundausrüstung der Herz-Lungen-Maschine gehört, stellt es bei jeder Herzoperation eine notwendige Ergänzung der Anlage dar.

Folgendes ist für Operationen mit der Herz-Lungen-Maschine erforderlich:

1. Heparin: Es wird gebraucht, um das Blut der Patienten, das Blut im Reservoir und das Spenderblut ungerinnbar zu machen.
2. Protamin-Sulfat: Es wird verwendet, um der Heparinisierung nach Beendigung der Perfusion entgegenzuwirken.
3. Kaliumzitrat oder Acetylcholin: Es wird angewandt, um einen vorübergehenden Herzstillstand herbeizuführen. Bei anderen Methoden sind derartige Medikamente nicht erforderlich.

4. Atropin: Das Atropin dient als Antagonist für das Acetylcholin. Wo Kalium-zitrat verwendet wird, wird dieses bei Wiederherstellung der normalen Coronarblutströmung rasch ausgeschwemmt.
5. Physiologische Kochsalzlösung: Sie wird gebraucht, um die Schlauchsysteme und Oxygenatoren vor dem Bluteinstrom auszuwaschen und luftleer zu machen.
6. Spenderblut: Es dient zum Ersatz jedes ungewöhnlich hohen Blutverlustes und gleichzeitig zum Auffüllen der Maschine vor dem Anschluß an den menschlichen Kreislauf.

Physiologische und chemische Voraussetzungen

Die Untersuchungen haben gewisse fundamentale Gesichtspunkte ergeben, die bei jeder extracorporalen Kreislaufmethode von grundlegender Bedeutung sind. Irreversible Veränderungen treten in den Hirnzellen nach einem Sauerstoffmangel von 3 Minuten und im Rückenmark nach 10 Minuten auf. Die Hirnzellen sterben ab, wenn ihnen der Sauerstoff für 4 oder 5 Minuten entzogen wird. Die Herzmuskelzellen verlangen ebenfalls eine Sauerstoffversorgung und CO_2 -Entfernung, um ihren Tod zu verhindern. Durch Hyperventilation der Lungen läßt sich die Anoxie der Herzmuskelzellen jedoch relativ längere Zeit hinauszögern.

Interessant ist es in diesem Zusammenhang, daß es durch Abklemmen der Aorta ascendens und damit der Coronararterien beim extracorporalen Kreislauf gelingt, das Herz ohne weitere Maßnahmen, insbesondere Medikamente, anzuhalten, und daß erst nach einer halben Stunde eine kurze Durchströmung mit arterialisiertem Blut (durch Öffnen der Aortenklemme) notwendig ist. Nach Beendigung der Operation am nicht schlagenden Herzen genügt die Freigabe des Coronarstromes, um die normale Herzaktion wieder herzustellen. Diese an der Crafoord'schen Klinik gebräuchliche Methode hat sich auch an unserer Klinik bei Tierversuchen bewährt.

Bei entsprechender Funktion des extracorporalen Kreislaufs können das Herz und die Lungen für unbestimmte Zeit umgeleitet und somit offene Herzoperationen durchgeführt werden.

Jeder extracorporale Kreislauf birgt eine Reihe von Gefahren wie ventrikuläre Fibrillation, Gerinnung und Embolie, Störung des Gleichgewichts des Säurebasenhaushalts sowie des Stoffwechsels und der Elektrolyte; all das muß, um Erfolg zu haben, kontrolliert bzw. verhindert werden. Andere Probleme, die von den an der Entwicklung der Herz-Lungen-Maschine arbeitenden Forschern gelöst werden mußten, waren z. B.: Wieviel Blut muß in der Zeiteinheit gepumpt werden und wie läßt sich die Strommenge kontrollieren? Soll das Herz vollständig zum

Stillstand gebracht werden oder soll es langsam weiterschlagen ? Wie ist das normale Elektrolytgleichgewicht zu erhalten ? Wie kann eine Blutung während der Perfusion und unter voller Heparinisierung kontrolliert werden ? Wenn Heparin gegeben werden muß, wieviel, wann und wie schnell ?

Heparinisierung:

Um die Blutgerinnung zu verhindern, wird dem Patienten vor dem "By-Pass" Heparin injiziert. Die verabreichte Menge beträgt im allgemeinen 1 - 1,5 mg/kg des Körpergewichts. Um den während der Operation aufgetretenen Blutverlust zu ersetzen, wird ein Blutreservoir in Reserve gehalten. Dieses enthält 18 mg Heparin mit 50 ccm 5 %iger Glukose auf je 500 ccm Ersatzblut.

pH-Werte:

Um geeignete pH-Werte im Blut aufrecht zu erhalten, erhob sich das Problem, wieviel Sauerstoff notwendig ist, um das Blut zu arterialisieren. Man ist bestrebt, bei allen Oxygenatoren möglichst normale Werte zu erhalten. Die verschiedenen Oxygenatoren arbeiten entweder mit 100 % Sauerstoff oder mit 95 % Sauerstoff und 3-5 % Kohlendioxyd. Wo 100 %iger Sauerstoff verwendet wird, muß eine laufende automatische Registrierung der Blut-pH-Werte durchgeführt werden und bei Bedarf sofort Kohlendioxyd dem Blut zugesetzt werden, bis die normale Höhe wieder erreicht ist ; es kann auch Natriumbikarbonat gegeben werden. Auch bei Verwendung von Gasgemischen ist indessen eine Kontrolle des Blut-pH-Wertes angezeigt.

Haemolyse :

Das Problem der Haemolyse ist schon zum guten Teil gelöst worden, jedoch ist weitere Forschungsarbeit notwendig. Es ist wesentlich, daß das gesamte Schlauchsystem sauber poliert ist und daß die Verbindungen und Anschlüsse zwischen dem Schlauchsystem stufenweise angeordnet sind. Alle Oberflächen sollten mit Silicon versehen sein, um das Trauma, welches dadurch ausgelöst wird, daß das Blut über eine "fremde Oberfläche" fließt, nach Möglichkeit zu verhindern.

Haemolysefaktoren:

Das Blut läuft mit hoher Geschwindigkeit durch die Perfusionsvorrichtung, durch die verschiedenen Kanülen und auch durch die Saugvorrichtung und ist dabei einer mehr oder weniger starken Schädigung durch verschiedene Einflüsse, vorwiegend mechanischer Art, ausgesetzt. Bei einer Perfusionsdauer, die zwischen 7 - 59 Minuten schwankt, beträgt die Haemolyse bei den heute hauptsächlich

verwandten Perfusionssystemen nicht mehr als 15 - 55 mg Haemoglobin auf 100 mg Plasma. Diese niedrigen Werte werden zudem auf freies Haemoglobin, das durch den Körper aufgenommen wird, zurückgeführt.

Blutstromvolumen :

Das Problem, die Menge des Blutstroms zu regeln, ist weitgehend durch die Verwendung von Geschwindigkeitskontrollpumpen, die entsprechend eingestellt werden können, gelöst worden. Bei anderen Pumpen wird die Förderleistung - Durchstromvolumen und arterieller Druck - durch mechanische oder elektronisch gesteuerte Regler je nach errechneter und anfangs festgelegter Einstellung aufrecht erhalten und dabei gleichzeitig dem venösen Zustrom angeglichen. Ein Leerpumpen der Maschine ist dabei unmöglich, während eine Mehrzufuhr durch Zufüllen von Spenderblut in den venösen Einflußteil jederzeit erfolgen kann. Auf diese Weise können operativ bedingte Blutverluste sofort durch arterialisiertes Blut ausgeglichen werden. Durch den Anschluß eines Saugers an den venösen Einstromteil der Maschine ist es außerdem möglich, aus dem Operationsgebiet alles austretende Blut abzusaugen, in die Maschine zu leiten und dem Patienten nach Arterialisierung wieder zuzuführen. Insbesondere auch das Blut aus dem Herzen, vor allem das venöse Coronarblut aus dem rechten Vorhof und das venöse Blut aus dem Ernährungskreislauf der Lungen (Zufuhr durch die Bronchialarterien), geht auf diese Weise nicht verloren.

Da für das Gelingen einer Operation mit extracorporalem Kreislauf, insbesondere in der ersten postoperativen Phase, eine möglichst exakte Bilanz zwischen Blutzufuhr und Blutverlust einerseits sowie physiologischem Gesamtblutvolumen des Patienten andererseits unbedingt erforderlich ist, sind genaue Messungen und Berechnungen notwendig. Neben der Bestimmung der Gesamtblutmenge und des für die Einstellung der Maschinenleistung wesentlichen Herzminutenvolumens, die stets praeoperativ erfolgen, muß durch Sammeln und Wiegen aller Kompressen, Tücher und Tupfer der jeweilige Blutverlust möglichst genau errechnet und durch Zufuhr von Spenderblut ausgeglichen werden. Auch das Wiegen des Kranken vor und nach der Operation mit extracorporalem Kreislauf ist von großer Bedeutung, da ebenso eine überschüssige Blutzufuhr vermieden werden muß.

Der O₂-Gehalt des arteriellen Patientenblutes und des arterialisierten Maschinenblutes muß laufend kontrolliert werden. Das geschieht am zweckmäßigsten durch Sauerstoffbestimmungen mittels eines Haemoreflektors in Blutproben, die in kurzen Abständen entnommen werden müssen. Zusätzlich werden genauere Blutgasanalysen von Zeit zu Zeit mit der Apparatur nach van Slyke

durchgeführt. Die Durchströmung wird für jeden Patienten individuell bestimmt. Die angewandten Durchströmungen liegen zwischen 50 ccm und 3000 ccm/Min. bei einer Maximalleistung je nach Maschine von 5-6000 ccm/Min. Mit zunehmender Erfahrung in der Anwendung des extracorporalen Kreislaufs ist die Höhe des Blutstromes ohne schädigende Wirkung auf den Blutkreislauf gesteigert worden. Wo höhere Durchströmungen verwendet wurden, entwickelte sich trotz des Gebrauchs von Antifoam A bei vielen Oxygenatoren, besonders den sogenannten "Bubble-Oxygenatoren", eine größere Menge Schaum. Das Problem seiner Eliminierung ist durch Verwendung eines großen Blutreservoirs bis zu 1000 ccm Fassungsvermögen ebenfalls gelöst worden. Der Schaum wird z. T. durch den sogenannten Entschäumer - ein geneigtes Rohr mit Entlüftung und Schaumaustrittsöffnung, das Antifoam enthält - entfernt und z. T. in dem Reservoir aufgefangen.

Filter:

Um etwaige Emboli oder Fibringerinnsel aufzufangen, sind viele Maschinen mit einem Filter oder einer ähnlichen Vorrichtung ausgestattet, die zugleich als Ventil konstruiert werden, um einen gerichteten Blutstrom zu garantieren. Sie werden im arteriellen Zufuhrschlauch eingebaut.

Bluttemperatur:

Damit das Blut, das durch die verschiedenen Schlauchsysteme fließt, auf Körpertemperatur gehalten werden kann, werden regulierbare Wärmespeicher in die Maschinen eingebaut. Wenn eine derartige Anlage nicht vorhanden ist, muß diese Temperatur durch anderweitige Heizkörper aufrecht erhalten werden.

Elektrolyte und Stoffwechsel:

Eines der schwierigsten Probleme, denen sich der Chirurg bei der Operation mit der Herz-Lungen-Maschine gegenübergestellt sieht, ist die Erhaltung eines einwandfreien Elektrolytgleichgewichtes während der Dauer des extracorporalen Kreislaufs und postoperativ. Die schnellste Methode zur Bestimmung der Elektrolyte dürfte in der Bestimmung der pH-Werte im Blut zu sehen sein; sie erfolgt mit entsprechenden Apparaturen automatisch. Wo keine automatische Vorrichtung verfügbar ist, werden mehrere Blutproben entnommen: vor der Perfusion, unmittelbar nach Beginn der Perfusion, nach der Hälfte der Perfusion, kurz vor Beendigung der Perfusion und schließlich nach Beendigung derselben. Am eindrucksvollsten kommt die Wirkung des "By-Pass" auf die Funktion des Stoffwechsels in der ansteigenden Azidose zum Ausdruck. Diese Azidose tritt auch bei anderen Herzoperationen, bei denen ohne By-Pass gearbeitet wird, auf.

Ein Faktor, der darauf Einfluß hat, ist die Verwendung von Barbituraten zur Anaesthesie. Es muß vor allem auf die Sauerstoffsättigung und den Kohlendioxydgehalt des Blutes geachtet werden, um normale Elektrolytverhältnisse aufrecht zu erhalten. Fast alle Systeme, die jetzt verwendet werden, benutzen zur Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes entweder 100 % Sauerstoff oder 95 % Sauerstoff und 5 % Kohlendioxyd. Ein anderer Faktor, der berücksichtigt werden muß, ist der wesentliche Unterschied zwischen der Aziditätskurve, die man einerseits bei nicht zyanotischen und andererseits bei zyanotischen Patienten schon normalerweise vor der Operation findet. Die Werte vor der Perfusion zeigen im allgemeinen unter Einwirkung der Hyperventilation bei nicht zyanotischen Patienten eine alkalische Reaktion. Patienten mit Rechts-Links-Shunt befinden sich dagegen häufig in einem Stadium der Stoffwechselazidose. Während der Perfusion bleibt der Zustand bei diesen Patienten unverändert; am Tag nach der Operation mit Korrektur des Herzfehlers weisen diese Patienten jedoch wieder normale pH-Werte im Blut auf.

Blutdruck:

Er wird zweckmäßig während der ganzen Operation durch geeignete Druckmeßapparate, die zugleich auch das EKG und das Stromvolumen registrieren, graphisch registriert. Dabei hat es sich bewährt, einen Druckkatheter in eine Femoralarterie und einen zweiten durch die V. femoralis in die V. cava inf. einzulegen, um den arteriellen Systemdruck und den venösen Druck kontrollieren zu können. Am Ende der Perfusion ist gewöhnlich ein geringes Absinken des systolischen Blutdruckes festzustellen. Während der Perfusion werden, wenn der Blutdruck absinkt, kleine Mengen von 0,1 mg Adrenalin oder 2 mg Nor-Adrenalin in 50 mg Kochsalzlösung gegeben, um den arteriellen Blutdruck auf einem Durchschnittswert von etwa 70 mm/Hg zu halten.

CO₂:

Das Kohlendioxyd wird möglichst auf normaler Höhe gehalten, jedoch liegt es am Ende der Perfusion konstant unter dem Normalwert. Das ist auf die hochprozentige Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes im Pumpenoxygenator zurückzuführen.

Säure - Basen - Haushalt:

Es werden in einigen Proben die Gesamtkationen und die Gesamtanionen bestimmt. Die Gesamtkationen umfassen Na, K und Ca; die Gesamtanionen schließen Cl, HCO₃, Phosphate, Laktate und Pyruvate ein. Ein Ansteigen der Gesamtanionen von einer bis zur nächsten Probe entspricht einer gleich großen

Säureproduktion. Es ist festgestellt worden, daß eine deutliche Säurebildung noch mehrere Tage nach der Operation anhält. Genauere Untersuchungen haben ergeben, daß diese Säurebildung zur Hälfte oder mehr durch Milchsäure bedingt ist. Die größte Zunahme wurde während der Perfusion festgestellt. Die Zunahme der Säuren scheint mit dem Absinken des pH schneller zu erfolgen oder wird langsamer bzw. hört sogar ganz auf, wenn der pH-Wert ansteigt. Die Säurebildung ist Ausdruck der Stoffwechselazidose; die Zunahme der Säuren und das Absinken des pH läßt die Möglichkeit einer Oxydation in den Zellen über den sogen. Krebs - Zyklus geringer werden, d. h. es entsteht ein Circulus vitiosus. Um dieser Azidose entgegenzuwirken, werden dem Patienten 7,5 %iges Natriumbikarbonat verabreicht oder durch die Herz-Lungen-Maschine zugeführt. Diese Gabe richtet sich nach den Blutproben und deren pH-Werten. Es ist als notwendig erachtet worden, eine Alkalimenge zu geben, die 6-10 mal so hoch ist wie die Menge des festgestellten Säureanstiegs. Diese Werte stellen keine starre und feste Regel dar und weitere experimentelle Untersuchungen sind hier erforderlich. Bei der Verabreichung einer derartigen Menge wird angenommen, daß der Kohlendioxydaustausch normal ist. Die Stoffwechselazidose zeigt nach der Perfusion die bemerkenswertesten Veränderungen. Der Faktor, der als Ursache dafür angenommen wird und gewöhnlich bei allen Eingriffen vorhanden ist, ist die Barbituratnarkose. Es besteht kein Zweifel, daß die Azidose eine schädigende Wirkung auf den Patienten ausübt. ~~Als detaillierte~~ Untersuchungen gemacht worden sind, ist es erforderlich, die Azidose symptomatisch zu behandeln.

Kaliumwerte im Blutserum:

Die Kaliumwerte im Blutserum bei nicht zyanotischen Patienten zeigen unter der Perfusion eine abfallende Tendenz; eine krasse Abnahme fand sich bei den Blutproben, die 15 Minuten nach Beginn der Perfusion entnommen wurden. Innerhalb von 2 Stunden nach Beendigung der Perfusion war der Kaliumspiegel im Blutserum ohne zusätzliche Behandlung wieder normal. Bei zyanotischen Patienten zeigen die Kaliumwerte während der Perfusion dagegen eine ansteigende Tendenz, sinken jedoch nach Ablauf der Perfusion auf niedrigere Werte ab. Einige amerikanische Forscher geben ihren Patienten kleine Mengen "Meads 48"-Lösung (20 mEq Kalium/Ltr.) parenteral nach der Operation. Innerhalb 18 Stunden nach Beendigung der Perfusion sind die Kaliumwerte wieder normal.

Blutzuckerwerte:

Viele Autoren legen einen Dauertropf mit 5 %iger Dextrose unter gleichzeitiger Gabe von Narkotika und anderen Medikamenten an. Traubenzucker wurde dem

Kochsalz vorgezogen, um eine Überdosierung von Natrium bzw. Natriumchlorid zu vermeiden. Die Traubenzuckerinfusion hört auf, wenn die Perfusion beginnt. Nach der Infusion mit Traubenzucker stiegen die Blutzuckerwerte an, Wenn die Blutzuckerwerte anstiegen, ohne daß Dextrose gegeben wurde, war diese Erhöhung auf Adrenalinausschüttung durch Glykogenolyse zurückzuführen. Die Spitzenwerte des Blutzuckers stimmen mit dem maximalen Abfall der Kaliumwerte im Blutserum überein. Die Veränderungen der Kaliumwerte im Blutserum können infolge Wirksamwerdens des Digitaliseffektes durch Hypocalcaemie von besonderer Bedeutung sein. Es wird angenommen, daß der akute Abfall des Kaliumspiegels im Blutserum nach der Perfusion bei zyanotischen Patienten durch die Neubildung des Leberglykogens und den darauffolgenden Kaliumentzug zustande kommt.

Serum-Calciumwerte:

Die Calciumwerte verringern sich im Durchschnitt um 9 %. Diese Werte kehren innerhalb 24 Stunden nach Beendigung der Perfusion zur Norm zurück.

Bikarbonat im Blutplasma:

Bei allen Patienten waren nach der Perfusion niedrigere Bikarbonatwerte im Plasma festzustellen als den Kontrollwerten entsprochen hätte. Auch hier ergeben sich Unterschiede zwischen nicht zyanotischen und zyanotischen Patienten, denen durch eine entsprechende Bikarbonatzufuhr mit dem Blut Rechnung getragen werden soll, wobei den Kranken mit Zyanose mehr Bikarbonat gegeben werden soll. Die Senkung des Bikarbonats ist in erster Linie auf die Akkumulation der fixierten Säuren zurückzuführen. Die Suprareninstimulierung wird allein als Ursache angesehen, daß eine Akkumulation der fixierten Säuren zustande kommt; dieser Faktor kann den Generalnenner des Bikarbonatabfalls in der allgemeinen Anaesthetie darstellen. Um physiologischere Werte zu erhalten, rieten einige Autoren, mehr Bikarbonat zuzuführen; jedoch ist derzeit die endgültige Lösung dieses Problems noch nicht möglich, so daß weitere Versuche notwendig sind.

Serum-Bilirubin:

Die Bilirubinwerte im Serum zeigten nach der Operation eine leicht ansteigende Tendenz, jedoch war diese auf die Haemolyse zurückzuführen und infolge der großen Blutmenge, die durch die Maschine lief, zu erwarten. Diese erhöhten Werte kehren im weiteren postoperativen Verlauf zur Norm zurück.

Blut-Eiweiß:

Albumine und Globuline zeigten nach der Perfusion eine abfallende Tendenz; die Albumine von +4 bis -16 % oder einen Durchschnitt von -7 %, die Globuline von +8 bis -62 % oder einen Durchschnitt von -18 %.

17, 21-Dihydrooxy-20-Ketosteroide im Plasma:

Die Nebennierensteroidoide im Plasma zeigen bei allen Patienten eine ansteigende Tendenz, die jedoch nur geringen Ausmaßes ist. Es wurden Veränderungen mitgeteilt, wie sie sich in diesem Grade auch durch die Wirkung einer Allgemeinnarkose erklären lassen.

DIE HERZ - LUNGEN - MASCHINE

1. Die Maschine nach CRAFOORD und SENNING

CRAFOORD und SENNING berichteten 1956 über eine von ihnen entwickelte und erfolgreich eingesetzte Herz-Lungen-Maschine. Diese Anlage besteht aus einem Oxygenator und einer Pumpvorrichtung kombiniert mit einem Reglersystem.

Der Oxygenator besteht aus einer geschlossenen Wanne mit 6 rotierenden Zylindern aus perforierter Plastikfolie. Das Blut wird dem Oxygenator zugeführt und von einem Ende der Wanne zum anderen über die rotierenden Zylinder geleitet. Die Wanne wird mit einem Gasgemisch aus Sauerstoff + 2-4 % Kohlendioxyd versorgt. Aus feinen Düsen, die sich in den Seiten der Wanne befinden, wird das Gas auch in die Zylinder geblasen. Alle Gase werden durch Strömungsmesse (Rotameter) kontrolliert und in entsprechendem Verhältnis zueinander gehalten. Die Zylinder befördern das Blut durch Rotation weiter und bedecken sich dabei mit einer dünnen Blutschicht; durch diesen dünnen Film entsteht eine beachtlich große Kontaktoberfläche mit dem Gasgemisch, das sich in der Wanne befindet.

Die Pumpvorrichtung sammelt das Blut aus der Wanne und pumpt es über Schläuche in das arterielle System der Patienten. Die Hauptbestandteile der Pumpe sind 2 Schläuche, die durch ein H-förmiges Metallstück rhythmisch abwechselnd komprimiert werden; dadurch wird das in ihnen befindliche Blut fortbewegt. 4 Ventil-"Finger" drücken jeweils entsprechend die unteren bzw. oberen Enden der Schläuche zusammen, wodurch die Stromrichtung gewährleistet wird. Auf diese Weise wird das Blut durchgepumpt und dem Patienten zugeführt.

Diese Herz-Lungen-Maschine ist auch mit einer mechanischen Reglervorrichtung ausgestattet. Das gesamte Blut des Patienten sammelt sich, nachdem es mit Sauerstoff gesättigt ist, vor dieser Anlage. Die Pumpenkapazität wird mittels des Reglers durch das jeweilige Blutvolumen des Patienten bestimmt, d. h. es wird nur so viel Blut gefördert und in das arterielle System ausgeworfen, wie von der venösen Seite her der Maschine zufließt und den Oxygenator passiert.

Der Inhalt dieser Maschine beträgt mit einer Wanne 1,6 Liter, mit zwei Wannen 2,1 Liter. Sie hat ein Reservoir, das 1 Liter Blut enthält, um jeden größeren Blutverlust kompensieren zu können. Der Haemolysefaktor in dieser Anlage ist befriedigend. Mit 2 1/2 Liter Blut in der Maschine bei Verwendung einer Wanne mit 6 rotierenden Zylindern ergibt sich ein Blutstrom von 3 Ltr./Min. durch das Schlauchsystem während eines Zeitraumes von 1 Stunde bei einer Haemolyse von 35 mg Hb/100 ml Plasma; mit zwei Wannen und 12 Zylindern und einem Blutstrom von 1 Std. (oder 72 x durch die Maschine) beträgt die Haemolyse 65 mg Hb/100 ml Plasma. Bei Operationen am Menschen verbraucht die Maschine mit einer Wanne und 6 rotierenden Zylindern 60 ml O₂/Min. Die Sättigung des Blutes erhöht sich dann von 60 % im venösen Blut auf 99 % im arteriellen Blut bei einem Blutstrom von 1,1 Ltr./Min.; mit 2 Wannen und 12 Zylindern ergaben sich 135 ml O₂/Min. mit einer Sättigung von 60 % im venösen Blut auf 90 % im arteriellen Blut und einem Blutstrom von 2,8 Ltr./Min. Wenn ein Voroxxygenator benutzt wurde, zeigte die Maschine eine Erhöhung der Sauerstoffsättigung auf 100 % bei einem Blutstrom von 3 1/2 Ltr./Min.; sobald die Maschine mit einem Voroxxygenator verbunden ist, ist ihre Kapazität beträchtlich größer, jedoch hat sich bisher keine Notwendigkeit für einen größeren Blutstrom bei einer Operation ergeben. Neuere Modelle dieser von der Firma AGA hergestellten Maschine verzichten wieder auf den nach dem "bubble-Prinzip" arbeitenden, Schaum erzeugenden und eine vermehrte Haemolyse bedingenden Voroxxygenator und haben statt dessen doppelte Rollen, d. h. in jedem Zylinder rotiert ein zweiter, wodurch die Kontaktoberfläche sehr viel größer wird und für Operationen aller Art ausreicht.

2. Die Maschine nach GIBBON

Eine der erfolgreichsten und bevorzugtesten Maschinen ist die nach GIBBON, die in verschiedenen Varianten hergestellt wird. Sie besteht aus einem Batterie-Oxygenator und 3 Walzenpumpen. Ihr Oxygenator besteht aus 6 glatten Drahtsieben, die parallel zu einer Verteilerkammer angebracht und in einem durchsichtigen Plastikgehäuse eingeschlossen sind. Die Kapazität dieser Maschine beträgt 2000 ml Blut pro Minute. Die Siebe haben einen Durchmesser von

45 x 30,5 cm (oder eine Siebfläche von 8325 qcm). Das Blut gelangt in den Oxygenator durch eine Öffnung am obersten Ende und läuft über beide Seiten der Siebe. Diese bestehen aus rostfreiem Stahldraht und haben rechteckige Maschen (Sieb Modell Tyler # 538). Die Sauerstoffkammer, in der die Siebe befestigt sind, besteht aus durchsichtigem Plastikmaterial. Der Sauerstoff gelangt in das Plastikgehäuse durch zahllose Löcher, die sich im Oberteil desselben befinden. Zusätzlich wird eine gleichmäßige Verteilung des Sauerstoffs innerhalb der Kammer durch Schläuche, die den Sauerstoff oben, in der Mitte und am Boden der Kammer freigeben, erreicht. Der Sauerstoff wird mit Wasserdampf auf Körpertemperatur erwärmt und gesättigt. Heizdrähte sind in die Wand der Kammer eingezogen, um diese Wände etwas über Körpertemperatur zu halten, wodurch die Kondensation im Innern der Kammer verhindert und die Temperatur des Blutreservoirs konstant gehalten wird. Das Reservoir enthält 185 ml Blut. Damit sich schon vor der eigentlichen Perfusion ein dünner Blut-Film auf dem Sieb bilden kann, wird die Kammer mit physiologischer Kochsalzlösung durchgespült, die die Siebe, bevor das Blut zugeführt wird, benetzt. Eine Öffnung am Boden der Kammer dient zur Zufuhr der Kochsalzlösung.

Die 3 Walzenpumpen sind aus der Originalpumpe von De Bakey entwickelt worden. Das Schlauchsystem der Pumpen, durch das das Blut fließt, besteht aus reinem Gummi mit einem Innendurchmesser von 7 mm und einer Wandstärke von 3 mm. Die Walzenarme der Pumpen drücken die Pumpenschläuche, während sie rotieren, fortlaufend an umschriebenen Stellen zusammen und treiben so das Blut in ihrer Drehrichtung weiter. Die Pumpenarme sind synchronisiert, so daß, wenn eine Walze ausfällt, der Druck des Schlauchsystems auf die Walze am anderen Ende des Achsschenkels jeden Rückstrom verhindert. Während das Blut in dem Schlauchsystem durch den Druck der Walzen vorwärtsgetrieben wird, entsteht gleichzeitig eine Saugwirkung der Pumpe durch die Elastizität, mittels der sich der Gummischlauch nach jeder Kompression direkt hinter der Walze wieder ausdehnt. Durch federnde Anbringung der Walzenarme wird die Haemolyse auf ein Minimum reduziert; auch wird das Schlauchsystem, wenn es durch die Walze zusammengepreßt wird, nicht vollständig verschlossen. Jede Pumpe wird durch einen eigenen Motor mit Geschwindigkeitsregler angetrieben.

Die venöse Pumpe treibt das Blut aus beiden Vv. cavae in die Pumpe des Oxygenators. Bei schwankender Durchströmung verhindert diese Pumpe im Oxygenator Veränderungen im Blutvolumen; sie wird auf einen konstanten Blutstrom eingestellt und zieht das Blut aus dem Boden des Oxygenatorgehäuses. Die dritte (arterielle) Pumpe führt das arterialisierte Blut aus der Maschine wieder einer großen Arterie zu. Die Höhe des Pumpen-Durchstromes wird durch

den Blutspiegel am Boden des Oxygenators automatisch geregelt. Dieser Blutspiegel wird bei allen Durchströmungen mit Hilfe einer Elektronenvorrichtung laufend kontrolliert. Der Apparat ist mit einem Filter im arteriellen Kreislauf ausgestattet. Das gesamte Schlauchsystem im Kreislauf, an den Pumpen sowie alle Anschlußteile werden vor Ingebrauchnahme mit DC 200 (Firma Dow Corning Co.) versehen.

3. Die Maschine nach DENNIS

DENNIS beschreibt einen Pumpenoxygenator, der nach 4jähriger Forschungsarbeit und Perfusionen an 80 Versuchshunden entwickelt wurde. Dieses System besteht aus langsam rotierenden Siebscheiben, denen das Blut durch Spritzen zugeleitet wird. Durch eine solche Scheibe mit einem Durchmesser von 38 cm, die mit einem rostfreien Stahlsieb aus 0,009 Zoll Draht mit 18 x 18 mm großen Löchern versehen ist, und die 54 Umdrehungen in der Minute macht, kann die Sauerstoffsättigung von 550 ccm Blut pro Minute von 45 auf 95 % gehoben werden. Durch die Verwendung multipler Scheiben auf einem Schaft wurde ein Oxygenator geschaffen, der es ermöglicht, die Perfusion beim Erwachsenen durchzuführen.

Das Blut wird von einer modifizierten DALE-SCHUSTER Pumpe aus den Venae cavae durch eine Stromuhr gepumpt und auf ein Spritzensystem, das das Blut auf mehrere Siebscheiben von 38 cm Durchmesser, die sich langsam um die horizontale Achse drehen und den Gasaustausch zwischen Sauerstoff und Kohlendioxyd herbeiführen, verteilt. Das Blut wird, nachdem es aus den Siebscheiben abtropft und mit O₂ gesättigt wurde, gesammelt und in die Arteria femoralis zurückgepumpt. Die hier verwendete Pumpe besteht aus einem "Methacrylate"-Deckel über einem Diaphragma aus Gummi. Letzteres wird durch Wasserdruck aus einem Gummigebläse mittels einer darunter liegenden durch Motor angetriebenen Nockenwelle zum Schwingen gebracht. Im Deckel sind Ventilkappen angebracht, die einen direkten Durchstrom gestatten und gleichzeitig regulieren. Zur Messung des Durchstromes wird ein Korrelationsmanometer verwendet. Die Scheiben für die Sauerstoffsättigung befinden sich in einer hermetisch abgeschlossenen Kammer, hergestellt aus glasartigem emaillierten Stahl und "Methacrylate". Das benutzte Gasmisch besteht aus Sauerstoff und, um dem physiologischen Partialdruck des CO₂ im Blut am nächsten zu kommen, aus 3 1/2 % Kohlendioxyd. Der Oxygenator wird mit einem Thermostaten auf Körpertemperatur gehalten, damit das Gasmisch voll mit Wasserdampf gesättigt werden kann und die Bluttemperatur gewahrt bleibt.

Die Aufrechterhaltung einer vorher festgesetzten bestimmten Blutmenge in einem kleinen Gefäß am Boden des Oxygenators hat sich als außerordentlich wichtig

erwiesen, da Abweichungen im Blutvolumen von 100-200 ccm wesentliche Blutdruckveränderungen verursacht haben. Die Aufrechterhaltung einer konstanten Blutmenge ist bei diesem Apparat auch deshalb wichtig, um das Ansaugen von Gas in die arterielle Pumpe zu verhindern.

4. Der "Helix"-Reservoir-Pumpenoxygenator

Seit mehreren Jahren wird die totale Körperperfusion beim Menschen mit Hilfe dieses Pumpenoxygenators erfolgreich durchgeführt, um Operationen am offenen Herzen bei normalen Temperaturen zu ermöglichen. Dieser Apparat hat sich bereits in der routinemäßigen klinischen Anwendung als zuverlässig und sicher arbeitend erwiesen.

Der Oxygenator, der schließlich als Ergebnis längerer Studien und Experimente entwickelt wurde, besteht aus einem großen Blasen- (Bubble-) Oxygenator, der aus 5 wesentlichen Teilen zusammengesetzt ist: Der Mischsäule, der Blasenzerstörungskammer, dem "Helix"-Reservoir (Helix: d. h. schneckenförmig; aus einem absteigenden schneckenförmig gewundenen Schlauchsystem zum Sammeln des arterialisierten Blutes bestehend), den arteriellen Filtern und der bei der Cardiotomie verwendeten sogen. Aspirationskammer. In der Mischsäule, einem senkrecht stehenden Aufsteigrohr mit großem Durchmesser, wird das venöse Blut, das von unten nach oben fließt (getrieben durch die venöse Pumpe) dadurch arterialisiert, daß von unten Sauerstoff durch feine Düsen eingeleitet wird, der in Blasen nach oben steigt. An der insgesamt sehr großen Oberfläche der entstehenden Blasen geht der Gasaustausch vor sich, d. h. es wird O_2 aufgenommen und CO_2 abgegeben. Die Blasenbildung in diesem Oxygenator ist ein ruhiger Prozeß, bei dem keine wesentliche Haemolyse auftritt. Die Blasenzerstörungskammer wird mit einem wirksamen antitoxischen "Silicone"-Präparat versehen, das die Abgabe des überschüssigen Sauerstoffs und Kohlendioxys durch Zerstörung der Blasen erleichtert und dem Blut einen glatten Durchstrom in das "Helix"-Reservoir ermöglicht. Dieses Reservoir entfernt wirksam die noch zurückbleibenden Blasen und sorgt für die schaumfreie Sammlung des voll mit Sauerstoff gesättigten Blutes. Das ganze "Helix"-Reservoir wird zur Aufrechterhaltung der normalen Körpertemperatur des Patienten während der Perfusion in ein gleichbleibend temperiertes Wasserbad versenkt. Ein Filter wird lieber in den zuführenden (Aspiration) Ast der arteriellen Pumpe eingeschaltet, als in den abführenden (Druck) Ast, und zwar, weil die Kraft, die jedes Partikelchen durch den Filter zu treiben versucht, wesentlich niedriger liegt als auf der abführenden Seite der "Sigmamotor"-Pumpe, die zum Patienten führt.

Das aus dem Coronarsinus kommende Blut, das in das Herz gelangt, wird während des By-Pass mit Hilfe einer zusätzlichen Vakuumsaugpumpe aspiriert und in einer unter dem Oxygenator angeordneten Kammer gesammelt. Dieses Blut wird dann der das Blut-Sauerstoffgemisch enthaltenden Mischsäule durch eine eigene Pumpe zugeführt.

Der beschriebene Apparat wird praktisch vollständig aus reinem "Polyvinyl"-Plastikmaterial, das ebenso wie die anderen aus dem gleichen Material hergestellten Teile leicht sterilisiert werden kann, angefertigt.

Die Vorteile eines Blasen-Oxygenators beruhen - abgesehen von seiner einfachen Handhabung und Konstruktion - auf der Leistungsfähigkeit bei Übernahme der Atemfunktionen. Der Sauerstoffgehalt des Blutes wird rasch und ohne Rücksicht auf den Grad der Desaturierung vor der Sauerstoffzufuhr bis zur vollen Sättigung gehoben; das Kohlendioxyd des venösen Blutes fällt durch die restlose Entfernung aus dem Blut auf normale oder subnormale Werte ab. Die Zuverlässigkeit der Handhabung wird durch Anwendung an Patienten, bei denen eine totale Körperperfusion bis zu einem Zeitraum von 90 Minuten durchgeführt wurde, und die als durch die Operation geheilt entlassen wurden, unter Beweis gestellt.

Auf Grund der Sicherheitsfaktoren, die der Konstruktionsart des "Helix"-Reservoirs eigen sind, kann sein Volumen ohne Gefahr erheblich verändert werden, wodurch für jeden Patienten eine gleichbleibende arterielle Perfusion gewährleistet wird. Bei plötzlichem Abnehmen des venösen Rückstromes kann dieser außerdem aus einer exogenen Quelle (Spenderblut) bis zur einwandfreien Wiederherstellung normaler Stromvolumenverhältnisse sofort ergänzt werden.

5. Die Maschine nach GUPTA

Die Herz-Lungen-Maschine von GUPTA stützt sich bei der Zuführung des Sauerstoffs in das Blut und zur Entfernung des Kohlendioxyds auf das Prinzip der Dispersion. Es wird für Entfernung der überschüssigen Gase (Sauerstoff und Kohlendioxyd) in Form von Blasen gesorgt, bevor das Blut durch die Pumpe dem Patienten wieder zugeleitet wird. Die Funktion dieser Maschine wird ohne Verwendung von Walzen, Diaphragma oder Kolbenantrieb erreicht.

Das venöse Blut gelangt an der Basis des Apparates in die Sauerstoffzerstreungsanlage. Das erste Stadium der Sauerstoffsättigung und Kohlendioxydentfernung geht vonstatten, wenn das Blut im inneren Glaskanal der doppelwandigen "Pyrex"-Kammer nach oben steigt. Der Sauerstoff gelangt in das Glasgehäuse, das den zentral gelegenen poröswandigen Zylinder über den mikroskopisch kleinen O₂-Einstromöffnungen umgibt und tritt in Form von winzigen Blasen in das Blut.

Die Größe der Blasen wird von dem Durchmesser der Poren (4-5 Mikromillimeter) in der Wand des porösen Zylinders bestimmt. Die Entfernung der überschüssigen Blasen wird vor der Rückleitung zum Patienten in der "Pyrex"-Mischkammer, die auf dem oberen Ende der Sauerstoffzerstreuungsanlage angebracht wird, erreicht. Hier bilden sich aus dem Dunst der feinen Bläschen große Blasen, die aus dem Apparat dadurch entfernt werden, daß das Blut über eine breite Oberfläche, die mit "Antifoam A^o" versehen ist, geleitet wird.

Von der Mischkammer aus erreicht das Blut eine 3. Kammer, die als Reservoir und zur Entfernung der Blasen dient. Die Blasen werden durch Absaugen entfernt, wofür die Kammer speziell konstruiert ist. Zuletzt wird das arterialisierte und entschäumte Blut wieder zum Patienten gepumpt. Die Pumpenkammer ist genau wie die des Reservoirs gebaut. Das Pumpen erfolgt durch wechselseitige Folge von Saugung und Druck auf die Oberfläche des Blutes in diese Kammer. Bei dem hier angewandten Prinzip kommen in der Pumpe keine beweglichen Teile mit dem Blut in Berührung. Die Pulsation wird durch 2 Elektroden in der oberen Hälfte der Pumpkammer kontrolliert. Ein (verstellbarer) By-Pass-Kanal dient dazu, venöses Blut aus dem unteren Anfangsteil der Sauerstoffzerstreuungsanlage in den Strom des arterialisierten Blutes zu befördern, bevor dieses in die Pumpenkammer gelangt, von der aus es dem Patienten wieder zugeführt wird.

Das Blutvolumen, das die ersten 3 Stationen des Maschinenkreislaufs durchlaufen hat, ist veränderlich. Die Umleitung von einem Teil des venösen Blutes in den arterialisierten Blutstrom dient dazu, jeder überschüssigen Sauerstoffsättigung, die sich in der Sauerstoffzerstreuungsanlage entwickelt, entgegenzuwirken. Die Temperatur des Blutes wird direkt, wenn der Blutstrom in das System gelangt, durch Thermometer gemessen und künstlich aufrecht erhalten. Die Elektroden in diesem System bestehen aus rostfreiem Stahl und sind in ihren "Lucite"-Haltern verstellbar. Alle Glasteile und das benutzte Plastikschauchsystem für die Verbindungen sind mit "Silicone" ausgekleidet. Der ganze Apparat kann in einen normalen Autoklaven gesetzt und heiß sterilisiert werden.

6. Oxygenator nach MILNES

MILNES u. Mitarb. haben nach eingehendem Studium anderer Methoden einen Blasen-Oxygenator mit einigen zusätzlichen mechanischen Verfeinerungen entwickelt. Dieses Zubehör umfaßt einen Plastikblasenverschluß, einen Blutfilter und Verbindungsstücke für das Schlauchsystem, die verhindern, daß die Schläuche während der Perfusion herausrutschen. Der Sauerstoffbehälter ist aus "Lucite" hergestellt und unter Zugrundelegung der Erfahrungen mit einer Reihe von Oxygenatoren, die von anderen entwickelt wurden, den Verhältnissen

angepaßt worden. Der Oxygenator besteht aus einem Zylinder innerhalb eines zweiten größeren Zylinders. Der innere Zylinder dient als "Sauerstoffsäule"; er hat einen Durchmesser von 5 cm und eine Länge von 41 cm. Der äußere Zylinder, der als Blutreservoir dient, hat einen Durchmesser von 13 cm und eine Länge von 50 cm; er ist mit einem fest aufgeschraubten perforierten Plastikdeckel versehen und ruht auf einem Metallständer.

Der Sauerstoff wird dem inneren Zylinder durch einen "Lucite"-Schlauch zugeführt, der an seiner Basis eintritt und 20 kleine Austrittsöffnungen in einer Entfernung von 3 cm aufweist. Diese Löcher haben einen Durchmesser von 0,8 mm, der somit dem inneren Durchmesser von # 18 Nadeln entspricht. Die Menge der Sauerstoffzufuhr wird durch die Menge des verlangten Blutstromes bestimmt und beträgt annähernd 1 Liter bei einem Blutdurchstrom von 150 ml/Min. Das venöse Blut gelangt durch ein Verbindungsstück, das einen Innendurchmesser von 7 mm hat, zum Boden des inneren Zylinders. Sobald das Blut in den inneren Zylinder gepumpt ist, trifft es mit den aufsteigenden Sauerstoffblasen zusammen und vermischt sich mit diesen. Wenn das Blut den oberen Teil der inneren Säule erreicht, läuft es durch einen Blasenverteiler, der aus einem Plastiknetz besteht und mit "Antifoam" versehen ist. Nachdem das Blut diesen Verteiler passiert hat, fließt es in einen feinmaschigen Filter, der sich in dem äußeren Zylinder befindet, und sammelt sich unten in dem großen äußeren Reservoir. Der Kreislauf wird durch eine "Sigmamotor"-Pumpe (Modell T 6S) aufrecht erhalten. Die Vermeidung von Luftembolien ist in diesem System auf einfache Weise erreicht worden. Zur Zeit ist es üblich, ein Reservoir mit wenigstens 1,000 ml Blut im Oxygenator aufrecht zu halten. Das tiefer gelegene Reservoir schafft damit einen wichtigen Sicherheitsfaktor, der darauf beruht, daß die im Blut enthaltene Luft über dem arteriellen Austritt liegt. Die Luftblasen, die aus der zentralen Sauerstoffsäule in das Reservoir gelangen könnten, verbleiben in der Nähe der Oberfläche und werden nicht in den arteriellen Kreislauf gezogen. Ein Plastiknetz-Schwamm mit Zwischenräumen von 4 x 4 mm, der mit "Antifoam" imprägniert ist, wird als "Kappe" auf den inneren Zylinder gesetzt. Dieser einfache, aber wirksame Blasenverteiler entfernt die Blasen, die daher nicht in das Reservoir gelangen. Versuche haben gezeigt, daß das Plastiknetz einen Anstieg der Haemolyse nach der Perfusion verhindert. Fibrinemboli können beim Eintritt des Blutes in den arteriellen Kreislauf dadurch vermieden werden, daß ein entsprechender Blutvorrat erhalten bleibt; die Emboli sind leichter als Blut und bleiben auf der Oberfläche des Blutes im Reservoir. Seitdem die Plastiknetz-Kappe verwendet wird, um die innere Sauerstoffkammer abzudecken, tritt im arteriellen Reservoir auch nach einstündiger Perfusion kein Schaum mehr auf. Die Vermeidung von Schaumbildung wird zusätzlich durch die bei diesem Oxygenator sehr

geringe Beeinträchtigung des Gerinnungsmechanismus unterstützt, die darin besteht, daß weitaus weniger Blutplättchen aus dem Blut durch Anlagerung an auftretende Fibrinfasern entfernt werden als bei anderen Modellen.

Bei der Anwendung des gerade geschilderten Oxygenators in der Klinik wird ein sogen. "Blasenfangfilter" im arteriellen Kreislauf dicht vor der arteriellen Kanüle angebracht. Dieser Filter dient als Auffangvorrichtung für alle die-
janigen Blasen, die trotz Entschäumungsanlage und den entsprechenden Maß-
nahmen in den arteriellen Kreislauf gelangen könnten. Alle etwaigen Blasen
werden in dem Blasenfilter abgefangen und verbleiben dort während des cardi-
alen By-Pass. Als weitere Sicherheitsmaßnahme ist in dem äußeren Reservoir,
10 cm unter dem oberen Ende des die Sauerstoffsäule enthaltenden Zylinders,
ein rostfreier Stahlfilter mit einem Maschennetz angebracht. In diesem Bereich
des Zylinders, in dem kein wesentlicher Druck mehr vorhanden ist, wird
jedes Gerinnsel, das in den Oxygenator gelangt oder sich vor dem Filter gebil-
det hat, am Durchfluß in das arterielle Schlauchsystem, durch das es mit dem
Blutstrom als Embolus in das arterielle Gefäßsystem des Patienten gelangen
könnte, gehindert. Die besten Resultate mit diesem Oxygenator ergaben sich
bei einem Blutstromvolumen zwischen 65-75 ml pro Kilo Körpergewicht in der
Minute.

7. Die Maschine nach SHUMCY

Die Herz-Lungen-Maschine von SHUMCY arbeitet ebenfalls nach dem Gas-
zerstreuungsprinzip. Der Oxygenator besteht im wesentlichen aus 2 Zylindern
oder Blasenauffängen, die konzentrisch in einem großen Zylinder oder Reser-
voir angeordnet sind. Das venöse Blut gelangt durch parallel laufende Seiten-
arme in die Blasenauffänge, wo es mit dem von unten durch einen Porzellan-
filter zugeführten Sauerstoff zusammentrifft. Blasen aus Blut und Sauerstoff
steigen aus den Auffängen zwischen Röhrensystemen, die mit "Antifoam A-
Spray" versehen sind, auf. Die Blasen brechen sich an den halbkugeligen Ab-
deckungen dieser Röhren, und das arterialisierte Blut fließt dann in die äußere
Kammer, die das Reservoir darstellt. Der gesamte Oxygenator besteht aus
"Lucite" oder aus Plexiglas und kann zum Reinigen auseinander genommen
werden. Die Sterilisation der Anlage erfolgt am besten durch Eintauchen in
Zephirollösung, weil hohe Temperaturen doch das Material angreifen. Die
Sauerstoffsättigung des Blutes mit diesem Apparat ist technisch einfach, wir-
kungsvoll und vollständig, und das Kohlendioxyd wird nach dem HENRYschen
Gesetz schnell aus dem Blut entfernt. Die auch hier vorhandene kombinierte
Filterkammer und die Blasenfangvorrichtung werden aus "Lucite" hergestellt,
während die Filter selbst aus Nylon bestehen. Durch die doppelläufige Filter-

kammer wird aus dem Reservoir das Blut herausgeleitet und dann dem arteriellen Kreislauf zugeführt. Die bei diesem Modell verwandte "Sigmamotor"-Pumpe befindet sich zwischen der Filterkammer und dem arteriellen System.

Verschiedene Oxygenatoren

Der Einheits-Oxygenator von GOTT wird aus 2 Tafeln "Polyvinyl"-Plastikmaterial hergestellt. Die benötigten Röhren und Kammern sind mit einem hitzebeständigen Verschluß aus Plastikmaterial versehen. Es gibt bei diesem Apparat weiterhin einen vertikalen Mischtubus, eine "Silicone"-Blasenverteilerkammer und einen Satz von 3 kurzen gebogenen Säulen (Zusatz-Kammer) zur endgültigen Entfernung alles verbleibenden freien Gases. Diese Abänderung der "Helix"-Anlage hat sich als absolut sichere Sperre gegen weiter in das arterielle System vordringende Blasen erwiesen. Der Oxygenator ist eine selbständige Anlage mit einem hitzebeständigen Sauerstoffverteiler im unteren Teil der Mischkammer, einem "Saran"-Filter, der in den Ausgang der angeschlossenen Zusatz-Kammer eingebaut ist, und einem Thermostaten, der sich in der arteriellen Kammer zur Erleichterung der Hitzeregulierung befindet. Zwei venöse Einstromschläuche führen in die untere Mischkammer; der eine Schlauch stellt den Haupteingang zum Oxygenator für das venöse Blut aus den Vv. cavae dar und der andere Schlauch ermöglicht den Eintritt des aus dem Operationsfeld durch einen für die Herzoperationen bestimmten Sauger aspirierten Blutes in die Mischkammer. Der arterielle Ausstromschlauch führt das arterialisierte Blut aus dem Oxygenator dem Patienten wieder zu. Der Oxygenator ist mit einem Reglersystem verbunden, durch das es ermöglicht wird, das Blutvolumen der Anlage auf unveränderter Höhe zu halten. Die Wärmequelle kann entweder durch einen Satz von 3 Heizlampen oder 1 Heizkörper, der sich in einem Reflexionskasten befindet, aufrecht erhalten werden. Die Kontrolle erfolgt automatisch durch einen einfachen Thermostaten. Außerdem kann noch ein Thermometer und ein Schalter zur manuellen Regulierung der Wärmequelle angebracht werden. Der Oxygenator ist im Handel erhältlich und kommt verpackt als sterile Anlage, fertig zum Gebrauch, mit "Antifoam" in der Blasenverteilerkammer versehen, an. Er wird zumeist in Verbindung mit den bewährten "Sigmamotor"-Pumpen eingesetzt.

Auch der einfach konstruierte Oxygenator nach LILLEHEI wird bei den Operationen in Verbindung mit der "Sigmamotor"-Pumpe (Modell T - 6S) verwendet.

Der Oxygenator selbst hat keine beweglichen Teile und wird komplett aus einem im Handel vorrätigen Plastikschlauch (aus reinem Polyvinyl) zusammengebaut und im Autoklaven sterilisiert. Die Sauerstoffsättigung des venösen Blutes erfolgt durch direkte Zuführung von 100 %igem Sauerstoff in Form von großen Bla-

sen in einem vertikalen Plastiktubus (Mischtubus). Die Bildung kleiner O_2 -Blasen wird dadurch erreicht, daß der Sauerstoff in Basisnähe des Mischtubus durch kreisförmig in einen gewöhnlichen Gummistöpsel eingesetzte 18er Injektionskanülen in die Blutsäule einströmt und nach oben aufsteigt. An der insgesamt sehr großen Oberfläche der aufsteigenden O_2 -Blasen findet bei engstem Kontakt mit dem venösen Blut die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe statt, ohne daß eine fremde Schichtsubstanz erforderlich wäre. Die Blasen werden dann zum größten Teil durch den Kontakt mit "Antifoam", das die Wand des oberen Teiles des Mischtubus und den darauf folgenden Verbindungstubus bedecken muß, zerstört. Alle verbleibenden Blasen steigen wegen ihrer relativ beträchtlichen Größe schnell zur Oberfläche und werden durch Ausscheidung des Kohlendioxyds mit diesem entfernt, wenn das Blut bei langsamem Durchstrom in dem nun folgenden schneckenförmig absteigenden Plastiktubus absinkt. Aus diesem spiralenförmigen Schlauchsystem tritt das arterialisierte Blut in das Hauptsammelreservoir (eine gewöhnliche "Kelly"-Flasche mit einem Polyäthylen-Sack ausgekleidet), aus dem es zur Perfusion dem Patienten zugeführt wird. Das arterialisierte Blut, das das Hauptreservoir verläßt, fließt durch Standard-Blutfilter. Dieser Oxygenator nach LILLEHEI entspricht dem oben schon beschriebenen "Helix"-Reservoir-Oxygenator.

PUMPEN

Die DALE-SCHUSTER-Pumpe, eine sogen. Diaphragmapumpe, die von DODRILL verwendet wurde, ist regulierbar und arbeitet nach dem Verdrängungsprinzip, d.h. jeder einzelne Pumpakt fördert ein bestimmtes Volumen, das durch den ausgeübten Druck und den Widerstand im Kreislaufsystem reguliert wird. Dieses mechanische Herz hat 2 voneinander unabhängige Pumpen in einer Anlage; die eine nimmt den Platz des rechten Herzens und die andere den des linken Herzens ein.

Um den Oxygenator das venöse Blut in einem relativ langsamen und gleichmäßigen Strom mit geringerem Druck zuzuführen, wurde als Ersatz für das rechte Herz eine andere Pumpe konstruiert, als sie für das linke Herz eingesetzt wird. Letztere muß einen pulsierenden Strom mit einem Maximaldruck, der dem arteriellen systolischen Druck in den großen Gefäßen bzw. in der Aorta entspricht, fördern.

Die Pumpenteile bestehen aus rostfreiem Stahl, Glas und Gummi. Die einzelnen Teile sind zum Reinigen und Sterilisieren leicht auseinanderzunehmen. Alle

Oberflächen, die in direkten Kontakt mit dem Blutstrom kommen, werden mit DC - 1107 "Silicone" (Firma Dow Corning & Co.), aufgelöst in Tetrachlorkohlenstoff, versehen.

Zum Messen des Blutstromes während der Operationen wurde die Pumpe mit einem Stromzähler vom Weir-Typ ausgestattet. In diesen Stromzähler wird ein Filter eingebaut. Die Stromzähleranlage erfüllt 3 wichtige Aufgaben;

1. Angabe der Höhe des Blutstromes,
2. Filtrierung des Blutes,
3. Ansammlung der Luft, die in das System dringen kann.

Der Betrieb der Pumpe erfordert die Zuführung von Druckluft und die Erzeugung eines Vakuums sowie elektrischen Strom zur Speisung des Motors, der die Nockenwelle, mit der die Pumpe gesteuert wird, antreibt. Die Aggregate dafür werden außerhalb des Operationsaales aufgestellt und durch entsprechende Leitungen mit der Pumpe verbunden.

Biegsame Diaphragmapumpen bieten eine Reihe von Vorteilen. Sie sind ähnlich zu handhaben wie die wechselweise wirkenden Ventilpumpen, außer, daß das Ventil durch ein biegsames Diaphragma ersetzt ist. Es gibt keine engen Spielräume zwischen den beweglichen Teilen und die Pumpe kann schnell gereinigt und sterilisiert werden. Weiterhin hat die Pumpe für den in Anspruch genommenen Zeitraum einen relativ großen Auswurf und liefert eine hohe Durchströmung bei normalem Puls.

Die nach einem ähnlichen Prinzip konstruierte Pumpe von TYSON-BOWMAN besteht aus einer Zylinderkammer, an deren unterem Ende zentral zu einem Kolben ein Diaphragma angeschlossen ist. Der Raum über dem Diaphragma ist die eigentliche Pumpenkammer, während sich darunter ein Luftraum befindet, der nicht in die Funktion der Pumpe einbezogen wird. Das Blut wird der Pumpenkammer über ein entsprechendes Schlauchsystem durch das Saugventil, das sich durch Senken des Diaphragmas öffnet, zugeleitet. Durch das Ausströmventil wird das Blut aus der Pumpe gedrückt, wenn sich das Diaphragma hebt. An das Ausströmventil wird ein Blasenauffang angeschlossen, um das System von Luft zu befreien.

Das Diaphragma und sein Kolben werden durch einen "Lindage"-Spezialmotor angetrieben; er besteht aus einer Pumpenstange, einem Winkelhebel, einem Nocken mit Welle und einer Spezialfeder; die die Bewegungen des Diaphragma regelnde Nockensteuerung ist an einen mit verstellbarem Geschwindigkeitsregler ausgestatteten Elektromotor angeschlossen. Die veränderliche Spannung der Feder wird dazu verwendet, die Blutmenge, die mit jedem Pumpenschlag in die Kammer gezogen wird, zu regulieren. Der Antriebs-

mechanismus dieses mechanischen Herzens befindet sich in einem Metallgehäuse, während die Pumpenanlage neben dem jeweiligen Oxygenator auf einem Sockel aufgebockt ist. Die Pumpenanlage kann zum Reinigen und Sterilisieren abgenommen werden. Für die ganze Pumpe werden nur vollkommen glatte, neutrale Materialien verwendet, um eine Gerinnung zu vermeiden. Gehäuse und Pumpenkopf sowie die Klappensitze bestehen aus "Lucite". Das Diaphragma und die Klappensegel sind aus "Vinyl"-Plastikmaterial hergestellt. Hochgradig beanspruchte Teile wie Pumpenkolben, Pumpenstange usw. bestehen aus rostfreiem Stahl. Die Pumpe hat eine Kapazität von 4,400 ccm/Min. und einem Leistungsbereich von 50 - 140 Pulsschlägen pro Minute.

Tab. 1

Congenitale Herzfehler, die durch Operation am offenen Herzen unter Anwendung der Herz-Lungen-Maschine behoben werden können:

Ventrikelseptumdefekt

Fallot'sche Tetralogie (auch Trilogie und Pentalogie)

Vorhofseptumdefekte (bes. Defekt des Septum primum)

Pulmonalstenose, valvuläre oder infundibuläre Form

Atypische Pulmonalveneneinmündung

Pulmonal-Aortenfenster, sog. Aorta-Pulmonalis-Defekt

Rupturiertes Aneurysma eines Sinus Valsalvae

Aortenklappenstenose oder -insuffizienz

Mitralklappenstenose oder -insuffizienz

Lutembacher-Syndrom

Atypische Anlage von nur einem Ventrikel

Tab. 2

Erworbene Herzfehler, die durch Operation am offenen Herzen unter Anwendung der Herz-Lungen-Maschine behoben werden können:

Aortenstenose

Mitralstenose (schwere Fälle)

Mitralinsuffizienz

Aorteninsuffizienz

Aortenaneurysma im Bereich des Thorax

Tumoren der Vorhöfe

Aneurysma der Ventrikel

Tab. 3

Chirurgische Eingriffe im Entwicklungsstadium:

Komplette Transposition der großen Gefäße

Truncus arteriosus

Tricuspidalatresie

Ebstein'sche Mißbildung

Coronar-Arteriosklerose

Tab. 4

Die dem extracorporalen Kreislauf eigenen Gefahren:

Kammerflimmern

Cardiale Arrhythmie

Gerinnung oder Fibrinreaktion

Embolie) Luft

) Gerinnsel (Thrombose)

Abweichung der Azidität

Störung des Stoffwechsels

Beeinträchtigung der Elektrolyse

OPERATIONSTECHNIK

Der Pumpenoxygenator soll betriebsfertig in den Operationssaal gebracht werden, wenn die Operation eingeleitet wird, jedoch so rechtzeitig, daß die Anlage noch mit Blut gefüllt werden und sich ein Blutfilm im Oxygenator bilden kann.

Der Patient wird sorgfältig gewogen, in den Operationssaal gebracht und narkotisiert. Der Anaesthetist schließt die Elektroden für EEG und EKG an, führt das rectale Thermometer ein und verabreicht die erforderlichen intravenösen Injektionen. Druck- und Strömungsmeßgeräte, Pulsabnehmer etc. müssen angelegt werden.

Es wird am besten im 4. ICR. durch bilaterale Intercostal-Incision eingegangen und das Sternum quer durchtrennt, um dem Chirurgen einen guten Zugang zu beiden Pleurahöhlen, zum Einlegen der notwendigen Kanülen und zur entsprechenden Untersuchung des Herzens und der großen Gefäße zu ermöglichen. Der Patient muß eine entsprechende Menge Heparin injiziert bekommen.

Manchen Autoren hat sich eine Drainage beider Thoraxhöhlen bewährt, durch die während der Operation das gesamte in die Pleurahöhle ablaufende Blut abgesaugt und der Maschine zugeführt werden kann. Die Drainage des Thorax erfolgt über einen Schlauch, der durch einen Einstich in die Thoraxwand jeder Höhle eingeführt wird. Das Blut wird über einen Saugbehälter abgeleitet, wobei ein negativer Druck von 15 mm Quecksilber erhalten bleiben soll. An den intrathorakalen Enden der Schläuche wird ein perforierter Metallschutz befestigt, um eine fortlaufende Drainage zu ermöglichen und die Lungen davor zu schützen, daß sie von dem Schlauchende angesaugt werden. Durch diese Drainagemethode kann das Blutvolumen während des extracorporalen Kreislaufs weitgehend unverändert erhalten werden. Entsprechend der Höhe des Blutverlustes muß Spenderblut zugesetzt werden; der größere Verlust besteht in dem Blut, das sich in der Thoraxhöhle sammelt. Es ist nun einfach, den Blutverlust über die Drainageschläuche zu messen. Nach Beendigung der Operation werden durch die gleichen Einstichwunden Drainagen gelegt.

Das arterielle Kanülensystem:

Das arterialisierte Blut wird dem Patienten über eine Kanüle, die in die vorher durchtrennte linke Arteria subclavia eingebunden wird, wieder zugeführt. Ein arterieller "Polyvinyl"-Schlauch mit einem Innendurchmesser von 1/2 Zoll verbindet die "arterielle" Seite des Pumpenoxygenators mit der Kanüle. Die **abgewinkelte** oder **abgebogene** arterielle Kanüle ist aus nicht rostendem Stahl hergestellt und muß eine völlig glatte polierte Innenfläche besitzen. Die Aus-

strömöffnung ist abgeschrägt und der Schaft hat eine Einkerbung, um sie fest in die Arterie einzubinden. Am anderen Ende findet sich ein Schlauchansatzteil, auf das das Ende des von der Maschine kommenden arteriellen Schlauches aufgeschoben wird. Für die Kanülen mit einem Innendurchmesser von 2,3 - 5,4 mm ist ein Schlauchsystem mit einem Durchmesser von 1/4 Zoll, während für die Kanülen 6,4 - 7,0 mm Schläuche mit einem Durchmesser von 5/16 Zoll benötigt werden. Wenn der Schlauch angeschlossen ist, wird eine feste Seidenligatur um das Ansatzstück gelegt als Vorsichtsmaßnahme, damit die Kanüle sich nicht von dem Schlauch lösen kann. Verbindungsstücke sorgen dafür, daß die 1/4 Zoll bzw. 5/16 Zoll Schläuche sich mit den 1/2 Zoll Schläuchen des arteriellen Hauptkanals vereinigen lassen. An dem Verbindungsstück des größeren Schlauches ist ein Hahn angebracht, damit die Luft vor Beginn der Perfusion leicht aus dem System entfernt werden kann.

Die Technik des Anlegens der arteriellen Kanülen

Die linke Arteria subclavia wird freipräpariert und feste Seidenligaturen um das aortennahe Ende geschlungen. Dann wird die Arterie peripher unterbunden und ein Längsschnitt in die Gefäßwand 1,5 cm vor ihrem Ursprung aus der Aorta gemacht. Die arterielle Kanüle wird in das Lumen der Arterie mit der Öffnung zur Aortenklappe sorgfältig eingeführt. Die Kanüle, die Schläuche und der arterielle Hauptdurchströmungskanal, der vorher mit Blut gefüllt worden ist, werden durch das Verbindungsstück zusammengefügt und die etwa noch verbliebene Luft wird durch den Sperrhahn abgelassen.

Das venöse Kanülsystem:

Hier verwendet man 2 dünnere Kunststoffschläuche oder -katheter. Sie werden in die Venà cava inf. und sup. eingeführt, um den venösen Blutstrom vom Patienten in den Apparat zu leiten. Ein einzelner Hauptschlauch aus "Polyvinyl" mit einem Innendurchmesser von 1/2 Zoll verbindet die venösen Katheter, die über ein Y-Stück zusammengefaßt werden, mit der "venösen" Seite des Pumpenoxygenators. Die Katheter bestehen aus "Polyvinyl"-Schläuchen, 18 Zoll lang, die nach der Einführung auf die gewünschte Länge zugeschnitten werden können. Der Schlauch bzw. Katheter für die Vena cava sup. wird durch Erhitzung "L"-förmig bis auf einen Winkel von 60° gebogen, um die Einführung zu erleichtern und eine bessere Lage in der Vene zu erreichen. Das Y-Verbindungsstück, das aus 2 gebogenen Einflußarmen, welche ausgewechselt werden können, um verschieden starke Katheter anschließen zu können und einen Einzelarm mit einem Innendurchmesser von 1/2 Zoll, besteht, vereinigt die beiden Schläuche aus den Venae cavae mit dem einzelnen größeren Schlauch, der zum Pumpenoxygena-

tor führt. Diese Verbindungsschläuche können ebenfalls aus Metall oder auch aus Kunststoff hergestellt sein.

Die Technik des Anlegens der venösen Katheter

Der einzelne venöse Schlauch zwischen dem Patienten und dem Pumpenoxygenator wird aus der Anlage vor Einlegen der Katheter in die großen Venen mit Blut gefüllt. Der rechte Vorhof wird durch eine bogenförmige Pericardöffnung über der Herzbasis freigelegt. Beide Venae cavae werden durch Nabelschnüre, die fest angezogen werden können, zur geeigneten Zeit dicht verschlossen. Das rechte Herzhorn wird mit einer Vorhofklemme abgeklemmt und auf der cardialen Seite der Klemme ein Rummel-Tourniquet angesetzt. Das Vorhofinnere wird danach digital überprüft und das Rummel-Tourniquet angezogen, wenn der für die Untersuchung verwendete Finger zurückgezogen wird. Der Katheter für die Vena cava inf. wird in den rechten Vorhof durch diese Incision eingeführt, nachdem das Rummel-Tourniquet zunächst wieder etwas gelöst und danach um den Katheter erneut angezogen worden ist. Er wird dann in die Vena cava inf. etwa 3-4 Zoll tief eingeführt und sodann bis auf etwa 1 Zoll Länge, der in der Vena cava bleibt, zurückgezogen. Der Katheter für die Vena cava sup. wird durch dieselbe Incision in gleicher Weise eingelegt. Je nach den anatomischen Gegebenheiten kann einer der Katheter auch durch eine gesonderte Vorhofincision eingeführt werden. Zur Befestigung sind Tabaksbeutelnähte erforderlich. Ein kleiner Gummi- oder Kunststoffring wird über die Katheter gestülpt und an den Rändern der Vorhof- bzw. Herzhornincision so mit Nähten befestigt, daß die Ränder der Incision über jedem Schlauch dicht angezogen werden. Die Katheter und der venöse Hauptkanal des Apparates werden nun durch das Verbindungsstück vereinigt und die verbleibende Luft wird aus den Durchströmungskanälen durch eine dem Hahn des Verbindungsstückes angeschlossene Spritze entfernt.

Beendigung des extracorporalen Kreislaufs:

Nach Verschluß der Incisionswunde werden die Ligaturen um die Katheter in den Venae cavae gelöst, beide Katheter abgeklemmt und die Venenabschnürungen geöffnet; der größte Teil des Blutstromes wird dann durch den normalen Kreislauf aufrecht erhalten und ein kleinerer Teil durch den arteriellen Blutstrom des Apparates. Bei befriedigender Herzaktion wird der Patient dem eigenen Kreislauf wieder angeschlossen, indem man auch den arteriellen Blutstrom aus der Maschine abklemmt. Während dann die weiteren Nähte angelegt werden, steht der Apparat bereit, um den Patienten, wenn es erforderlich ist, wieder an den extracorporalen Kreislauf anzuschließen. Sobald man erkennt, daß das Herz seine Tätigkeit wieder in zufriedenstellender Weise aufgenommen hat, werden

die arterielle Kanüle und die venösen Katheter entfernt.

Elektiver Herzstillstand bei Operationen am offenen Herzen:

Der elektive Herzstillstand ist vielleicht der beachtlichste Fortschritt in der intracardialen Chirurgie seit Entwicklung der Technik des extracorporalen Kreislaufs. Dadurch, daß der Chirurg in der Lage ist, das Herz anzuhalten und nach seinem Willen wieder schlagen zu lassen, sind in der Herzchirurgie ideale Voraussetzungen für jede Operation geschaffen worden; ein trockenes Operationsfeld, ein ruhiges Herz und gute Sichtverhältnisse. Darüber hinaus ist der Herzstillstand, wenn er unter geeigneten operativen Bedingungen vorsichtig herbeigeführt wird, technisch einfach und hat in der klinischen Anwendung ermutigende Resultate ergeben.

Die Erkenntnis, daß das Herz durch Chemikalien zum Stillstand gebracht und wieder in Betrieb gesetzt werden kann ist nicht neu, nachdem von RINGER (1883) schon über grundlegende physiologische Beobachtungen berichtet wurde. Der größere Anstoß für die klinische Anwendung ist von MELROSE und seinen Mitarbeitern gegeben worden. Die von dieser Gruppe in England entwickelte Technik wurde als die einfachste und wirkungsvollste zur Herbeiführung des Herzstillstandes und Wiederherstellung einer befriedigenden Herzaktion angesehen. Der Vorteil der MELROSE-Technik liegt in der einfachen und zuverlässigen Arbeitsweise. Es wird für die Einleitung des Herzstillstandes bei normaler Körpertemperatur nur Kaliumzitrat gegeben. Bei neueren Methoden, die in der Literatur beschrieben worden sind, werden dagegen mehrere Chemikalien mit oder ohne Hypothermie gefordert.

Um für den Chirurgen annehmbar zu sein, muß der elektive Herzstillstand folgende Voraussetzungen erfüllen:

1. Die Methode muß einfach und absolut sicher in ihrer Wirkung sein.
2. Das Herz muß, wenn es zum Stillstand gebracht worden ist, leicht auf Reize reagieren.
3. Der Sicherheitszeitraum für den Herzstillstand muß ausreichen, um eine besonnene und sorgfältig durchgeführte Operation des vorliegenden Herzfehlers zu gewährleisten.
4. Der Herzstillstand muß nach den Erfordernissen des Chirurgen für den entsprechenden Zeitraum reguliert werden können.

Die MELROSE-Technik erfüllt diese Voraussetzungen, wie die experimentellen und klinischen Erfahrungen gezeigt haben.

Die Technik des elektiven Herzstillstandes

Der "By-Pass" des schlagenden Herzens wird in üblicher Weise durchgeführt. Nachdem der Pumpenoxygenator angeschlossen ist, werden die Vv. cavae durch Nabelschnurbändchen oder dünne Gummischläuche über dem Katheter abgebunden und der Anschluß über das rechte Herzhorn zur Herz-Lungen-Maschine hergestellt. Das sauerstoffgesättigte Blut wird durch die Kanüle dem Aortenbogen über die Arteria subclavia wieder zugeleitet. Noch vor der Inbetriebsetzung der Maschine wird die aufsteigende Aorta zwischen der Klappe und der Arteria anonyma mobilisiert. Diese Isolierung ist leicht durchzuführen. Ebenso wird die Arteria pulmonalis freigelegt. Beide können abgeklemmt oder durch Nabelschnurbändchen temporär abgebunden werden. Nach Beginn des "By-Pass" und sobald der größere venöse Rückstrom ausgeschlossen ist, zeigt sich eine beträchtliche Abnahme der Herzgröße. Nach 1 oder 2 Minuten wird die vorher mobilisierte Aorta mit einer Aortenklemme verschlossen. Nach dem Verschuß wird das Kaliumzitratgemisch in den proximalen Anteil der Aorta injiziert, wo es sich im Herzkranzgefäßsystem ausbreitet. Das Gemisch setzt sich zusammen aus 2 mm einer 25 %igen Kaliumzitratlösung + 18 ml heparinisier-tem Blut. Die Menge des Gemisches schwankt und richtet sich je nach der Größe des Herzens und der Leistungsfähigkeit der Aortenklappe. Bei kleinen Kindern dürften 8-10 ml ausreichen, bei Erwachsenen sind etwa 150 ml des Kaliumzitratgemisches erforderlich. Die Injektion soll schnell und ohne Unterbrechung bis zum Herzstillstand erfolgen. Das Aufhören des ventrikulären Herzschlages erfolgt gewöhnlich prompt innerhalb von Sekunden nach Beginn der Injektion. Die Spitze des rechten Herzhorns ist der letzte Teil des Herzens, der stillgelegt wird, nachdem sie am weitesten von dem Ursprung des Coronar-einstroms entfernt ist. Nach dem Herzstillstand erscheint das Herz dilatiert und schlaff. Die Incisionsstelle wird im Herzhorn oder Ventrikel gewählt, Sicherungs- und Haltenähte angelegt und die Incision durchgeführt. Das in der Herzkammer enthaltene Blut wird abgesaugt und dadurch eine direkte Inspektion des Herz-innern und die Operation unter Sicht des Auges ermöglicht.

Wiederaufnahme der Herztätigkeit:

Die Methode, das zum Stillstand gebrachte Herz wieder zum Schlagen zu bringen ist genau so einfach wie die Einleitung des Herzstillstandes. Während das Herz verschlossen wird, wird die Aortenklemme entfernt, die Coronarperfusion wieder hergestellt und die Kaliumlösung wieder ausgeschwemmt. In den meisten Fällen erfolgt darauf die spontane Kontraktion des Herzmuskels, es zeigt sich bald wieder ein normaler Sinusrhythmus. Die Coronarperfusion spült das Kaliumzitrat in das rechte Herz; es gelangt dann in den großen Kreislauf oder

entkommt durch die teilweise verschlossene Incisionswunde des Herzens. Neuerdings wird auf die Injektion von Kalium oder anderen Mitteln wie z. B. Acetylcholin verzichtet. Es hat sich gezeigt, daß allein die Abklemmung der Aorta und das dadurch bedingte Sistieren der Coronardurchströmung nach kurzer Zeit zum reversiblen Herzstillstand führt. Nach Wiedereröffnung der Aorta tritt unter Einsetzen der Coronardurchblutung die Herzaktion rasch wieder auf und normalisiert sich sofort. Die Aorta kann bis zu 30 Minuten abgeklemmt werden, dann muß die Coronarzirkulation kurzfristig freigegeben werden; ein baldiges erneutes Abklemmen der Aorta ist jedoch durchaus möglich. Eine Schädigung des Herzmuskels wurde nicht beobachtet.

SCHLUSS

Die Herzchirurgie übt einen großen Einfluß auf die Cardiologie aus. In der Tat sind es die Chirurgen, die der Cardiologie größten Auftrieb gegeben haben. Wenn der Chirurg seine Kenntnisse in der Therapie nach ihren Grundsätzen anwendet, muß jener in der Lage sein, präoperativ eine exakte Diagnose zu stellen. Nicht nur "qualitative" Präzisierung ist notwendig, sondern ebenso "quantitative". Früher genügte die qualitative Diagnose. So wurde z. B. die Diagnose einer Mitralstenose oder -insuffizienz auf Grund des systolischen und diastolischen Spitzengeräusches gestellt. Eine solche Diagnose ist selbstverständlich für den Chirurgen keine Hilfe. Er muß wissen, wie weit die Leistungsfähigkeit des Patienten noch erhalten ist, und ob eine Operation wirklich sein Befinden bessern kann, ob eine solche also indiziert ist.

Bis zu dem Zeitpunkt, wo die Herzchirurgie so vollkommen ist, daß eine Operation bei allen Patienten ohne Rücksicht auf den Schweregrad der Herzerkrankung durchgeführt werden kann, ist äußerste Präzision sowohl in der qualitativen wie in der quantitativen Diagnostik erforderlich. Die Genauigkeit in der Diagnosestellung, die immer wieder gefordert wurde, hat zur Entwicklung und Anwendung spezieller Techniken - wie venöse Katheterisierung, arterieller Katheterismus, Katheter des linken Herzens, Angiocardiographie in einer Ebene oder in zwei Ebenen gleichzeitig, verschiedene Methoden zur Messung des Herzauswurfs einschließlich des Standard-Verfahrens nach dem Fick'schen Prinzip und Farb-Verdünnungsmethoden, wobei Farben oder Radio-Isotopen verwendet werden, zahlreiche Tests durch Registrierung mit den verschiedensten Meßinstrumenten etc. - geführt. Die Entwicklung dieser Untersuchungsmethoden war notwendig, um die Voraussetzungen für

eine erfolgreiche Durchführung der Herzoperationen zu schaffen.

Obwohl der Chirurg von einigen Kollegen als "Super-Techniker" angesehen wird, ist es nur zu deutlich, daß er viele Teile der Cardiologie besser kennt als die Internisten, und daß der Mediziner, um das zu erreichen, hart arbeiten muß, um mit seinem chirurgischen Kollegen Schritt zu halten. Die Moral ist, daß jeder einen Großteil zum Erfolg des anderen beizutragen hat. "Team"-Arbeit und ein Verstehen der Probleme des anderen sind wesentlich. Der beste Chirurg ist ein guter Mediziner, aber ein Mediziner kann nie ein Chirurg sein! Es ist am besten, wenn der Chirurg soviel wie möglich von der zeitraubenden medizinischen Kleinarbeit befreit wird, wie es seiner chirurgischen Tätigkeit am zuträglichsten ist, wenn er dieser seine Zeit widmen und auf dem Gebiet der spezialisiertesten und durchdachtesten Herztechniken, die bestehen, - nämlich der Operation selbst, - wirken kann. Der Erfolg der Operation hängt weitgehend von der guten Zusammenarbeit des Teams ab. Es muß sich zusammensetzen aus einem Cardiologen, einem Röntgenologen, einem Anaesthesisten und einem Chirurgen. Nur durch die "Team"-Arbeit sind jetzt und in Zukunft beste Resultate zu erzielen; ein großes gegenseitiges Verständnis und Vertrauen wird dabei vorausgesetzt. Es ist ein Appell an beide, sowohl den Internisten wie an den Chirurgen.

Die Voraussetzungen, die notwendig sind, um erfolgreich am offenen Herzen operieren zu können, sind folgende: Eine gründliche tierexperimentelle Forschungsarbeit ist unbedingt erforderlich, bevor man an die klinische Anwendung der Maschine denken kann. Wenn ein spezieller Pumpenoxygenator gewählt wird, so müssen die Funktionen desselben eingehend studiert und immer wieder Versuche gemacht werden, bis alle ihm eigenen Probleme gelöst worden sind.

Die große Entwicklung der Herzchirurgie und besonders der intracardialen Chirurgie am stillstehenden Herzen ist noch nicht abgeschlossen, sondern steht erst am Anfang. Diese Arbeit zeigte den derzeitigen Stand der Entwicklung und der damit zusammenhängenden Probleme auf; sie erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Zahlreiche erfolgreiche Operationen wurden jedoch schon in den verschiedensten Ländern durchgeführt, so daß es berechtigt erschien, die wichtigsten Grundlagen, die operative Methodik und die Herz-Lungen-Maschine selbst, soweit sie sich bewährten, darzustellen. Zweifellos werden aber weitere Forschung und Erfahrung zur Ausbildung einer, dann sicher viel einfacheren Standardmethode und zur Herstellung einer universell geeigneten Standardmaschine führen. Erst dann wird es möglich sein, das ganze Gebiet zusammenfassend darzustellen, ohne daß man damit rechnen muß, daß schon innerhalb kürzester Zeit vieles überholt ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- Cohn, M. ; Lillehei, G.W. : A quantitative study of the azygos factor during vena cava occlusion in the dog.
Surg. Gyn. & Obs., 98 : 225, 1954
- Cohen, M. ; Warden, H.E. and Lillehei, G.W. : Physiologic and metabolic changes during autogenous lobe oxygenation with total cardiac bypass employing the azygos flow principle.
Surg. Gyn. & Obs., 98 : 523, 1954
- Crafoord, C. ; Norberg, B. ; Senning, A. : Clinical studies in extracorporeal circulation with a heart lung machine.
Acta Chir. Scand., 112 : 220, 1957
- DeBakey, M.E. : Simple continuous flow blood transfusion instrument.
New Orleans M. & S. Journal, 87 : 386, 1934
- Dennis, C. ; Spreng, D.S. et al. : Development of a pump-oxygenator to replace the heart and lungs; an apparatus applicable to human patients, and application to one case.
Ann. Surg., 134 : 709, 1951
- Dodrill, F.D. et al. : Some physiologic aspect of the artificial heart problem.
J. Thor.Surg., 24 : 134, 1952
- DeWall, R.A. ; Warden, H.E. et al. : Total body perfusion with a pump-oxygenator for open intracardia surgery, physiologic responses in 120 patients.
J.A.M. Ass., 93 : 6, 1957
- DeWall, R.A. ; Warden, H.E. et al. : Total body perfusion for open cardiectomy utilizing the bubble oxygenator; physiologic responses in man.
J. Thor. Surg., 32 : 591, 1956
- DeWall, R.A. ; Warden, H.E. et al. : A simple expendable, artificial oxygenator for open heart surgery.
Surg. Clin. N. Amer., 36 : 1025, 1956

- Gollan, F. ; Grace, J. T. : The oxygenation of blood by gas dispersion.
Science, 111 : 85, 1950
- Gott, V. L. ; Sellers, R. D. et al. : A disposable unitized plastic sheet oxygenator for open heart surgery.
Dis. Chest, 32 : 615, 1957
- Hohmann, H. G. : Der offene Ductus Botalli und seine chirurgische Behandlung.
Münch. Med. Wschr. 97/14, 426 (1955)
- Kirklin, J. W. ; Harshbarger, H. G. et al. : Studies in extracorporeal circulation.
Surg. Gyn. & Obs., 106 : 1111, 1958
- Lillehei, C. W. ; Cohen, M. et al. : Direct vision intracardiac surgical correction of the tetralogy of Fallot, pentalogy of Fallot, and pulmonary atresia defects; report of first to cases.
Ann. Surg., 142 : 418, 1955
- Lillehei, C. W. ; Cohen, M. et al. : The direct vision intracardiac correction of congenital anomalies by controlled cross circulation; results in 32 patients.
Surg. 38 : 11, 1955
- Lillehei, C. W. ; DeWall, R. A. et al. : Direct vision intracardiac surgery in man using a simple disposable artificial oxygenator.
Dis. Chest., 29 : 1, 1956
- Miller, B. J. ; Gibbon, J. H. et al. : Recent advances in the development of a mechanical heart and lung apparatus.
Ann. Surg., 134 : 694, 1951
- Milnes, R. F. ; Woude, R. V. et al. : Problems related to a bubble oxygenator system.
Surg. 42 : 986, 1957
- Peters, J. P. ; Van Slyke, D. D. : Quantitative clinical chemistry.
Vol. 1, Baltimore Williams & Wilkins Co., 1951
- Pratt, G. H. : Experiences with extracorporeal circulation in open cardiac surgery.
Am. J. Surg., 93 : 6, 1957

- Silber, R.H. ; Porter, C.C. : Determination of 17,21-Dihydroxy-20-Keto-steroid in urine and plasma.
J. Biol. Chem., 210 : 923, 1954
- Shumway, N.E. ; Ghedman, M.L. ; Lewis, F.J. : A mechanical pump oxygenator for successful cardiopulmonary by-pass.
Surg., 40 : 831, 1956
- Southworth, J.L. ; Pierce, E.C. ; Tyson, T. ; Bowman, R.L. :
Diaphragm pump for artificial circulation (Tyson-Bowman pump).
Arch. Surg., 66 : 53, 1953
- Spreng, D.S. Jr. ; Dennis, C. et al. : Acute metabolic changes associated with employment of a pump-oxygenator to supplement the heart and lungs.
Surg. Forum 1951, Am. Coll. of Surg., Pg. 165, 1952.

Lebenslauf

Ich, Harold Kapen, wurde am 11. Februar 1927 als Sohn des Kaufmanns Abraham Kapen und seiner Ehefrau Dora geb. Plotkin in New York geboren.

Meine Kindheit verlebte ich im Elternhaus. Von 1932-1938 besuchte ich die Volksschule, von 1938-1941 war ich Schüler der Junior-Hochschule. Als Student besuchte ich von 1941-1944 die Stuyvesant-Hochschule in New York. Von 1944-1948 tat ich als Funkoffizier Dienst bei der Marine. Von 1948-1952 besuchte ich die Universität von Kalifornien in Los Angeles und bekam 1952 mein Arztdiplom. Von 1952-1954 habe ich in Deutschland nochmals Militärdienst geleistet.

Im Wintersemester 1954 begann ich an der Universität München mit dem Studium der Medizin; das Physikum bestand ich im Sommersemester 1956 in München. Ebenfalls in München absolvierte ich das klinische Semester. Meine Famulaturen leistete ich im Mont Sinai Hospital in New York - in den Abteilungen für Frauenheilkunde und Geburtshilfe - und in der medizinischen Abteilung im Queens General Hospital ab.

Seit Sommer 1956 bin ich mit Miß Shirley Garfinkel verheiratet.

An der Universität in München habe ich im Winter 1959 das medizinische Staatsexamen abgelegt.

